

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavební mechaniky

Tvorba aplikace pro generování zatížení větrem a
sněhem na stavebním objektu

Creating of applications for the generation of wind
and snow loads on the building

Student:

Jan Šeliga

Vedoucí práce:

Ing. David Mikolášek, Ph.D.

Ostrava, 2016

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Anotace

Předmětem bakalářské práce je vytvořit aplikaci v systému CAD pro generování zatížení větrem a sněhem. Uživatel interaktivně přizpůsobí geometrii stavebního objektu svým požadavkům a spustí aplikaci na generování plošného zatížení od účinků působení větru a sněhu. Generování zatížení je prováděno dle norem ČSN EN 1991-1-3 a ČSN EN 1991-1-4. Výsledky se zobrazují jako objemová tělesa vysunutá na obrys stavebního objektu. Na jejich vnějších plochách se pak mohou vypsát textové hodnoty tvarových koeficientů, nebo spočítaných plošných zatížení pro danou oblast. Uživatel má možnost procházet jednotlivé zatěžovací stavy a volit různé typy prezentace výsledků.

Klíčová slova: Generátor plošného zatížení, zatížení sněhem, zatížení větrem, ČSN EN 1991-1-3, ČSN EN 1991-1-4, Microsoft Visual Studio, jazyk C++, ObjectARX API, AutoCAD

Annotation

The subject of the thesis is to create an application in the CAD system to generate wind and snow loads. User can interactively adjust the geometry of the building to their needs and starts the application to generate surface loads from the effects of wind and snow. Generating load is carried out according to standards ČSN EN 1991-1-3 and ČSN EN 1991-1-4. Results are displayed as solid objects pulled out on the outline of the building. On their outer surfaces can then be written out the text values of shape coefficients, or calculated planar loads for the area. The user has the option to browse through the different load cases and select different types of presentation.

Keywords: Generate surface load, snow load, wind load, ČSN EN 1991-1-3, ČSN EN 1991-1-4, Microsoft Visual Studio, C++ language, ObjectARX API, AutoCAD

Obsah

| | |
|---|----|
| Seznam použitého značení | 7 |
| Seznam odborných termínů a zkratk | 8 |
| Úvod | 9 |
| 1 Výpočet zatížení sněhem a větrem | 10 |
| 1.1 Výpočet zatížení sněhem dle normy ČSN EN 1991-1-3 | 10 |
| 1.2 Výpočet zatížení větrem dle normy ČSN EN 1991-1-4 | 12 |
| 1.2.1 Výpočet maximálního dynamického tlaku | 12 |
| 1.2.2 Součinitele vnějších tlaků na vybraných objektech | 14 |
| 1.2.3 Součinitele vnitřního tlaku | 15 |
| 2 Popis řešené aplikace | 17 |
| 2.1 Možnosti rozšíření programu AutoCAD | 17 |
| 2.2 Volba vývojového nástroje pro tvorbu aplikace | 20 |
| 2.3 Popis řešené aplikace | 20 |
| 2.3.1 Popis grafické entity a její zavedení do programu AutoCAD | 21 |
| 2.3.2 Generování zatížení a zobrazení výsledků | 24 |
| 2.3.3 Struktura aplikace | 31 |
| 3 Použití aplikace na vzorovém příkladu | 35 |
| 3.1 Zadání | 35 |
| 3.2 Ruční výpočet | 35 |
| 3.3 Porovnání výsledků | 38 |
| 4 Závěr | 40 |
| 5 Příloha | 41 |
| 5.1 Výstupy řešené aplikace generátoru | 41 |
| 5.2 Výstupy programu SCIA Engineer | 43 |

| | | |
|-----|----------------------------------|----|
| 6 | Seznam použitých podkladů | 44 |
| 6.1 | Normy..... | 44 |
| 6.2 | Literatura | 44 |
| 6.3 | Další zdroje | 44 |
| 6.4 | Použité programové vybavení..... | 44 |
| 7 | Seznam tabulek a obrázků | 45 |
| 7.1 | Seznam tabulek | 45 |
| 7.2 | Seznam obrázků | 45 |

Seznam použitého značení

| | |
|------------------------|--|
| C_e | součinitel expozice |
| C_t | tepelný součinitel |
| I_v | intenzita turbulence |
| C_{dir} | součinitel směru |
| C_p | součinitel tlaku |
| C_r | součinitel síly |
| C_o | součinitel orografie |
| C_{season} | součinitel ročního období |
| k_l | součinitel turbulence |
| k_r | součinitel terénu |
| q_p | maximální dynamický součinitel |
| S | zatížení sněhem na střeše |
| S_k | charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi |
| V_m | střední rychlost větru |
| $V_{b,0}$ | výchozí hodnota základní rychlosti větru |
| V_b | základní rychlost větru |
| V_m | střední rychlost větru |
| W | talk větru |
| Z | výška nad zemí |
| Z_0 | parametr drsnosti terénu |
| Z_{max} | maximální výška |
| Z_{min} | minimální výška |
| α | úhel sklonu střechy |
| μ (kapitola 1.1) | tvárový součinitel |
| μ (kapitola 1.2.3) | poměr otvorů |
| ρ | měrná hmotnost vzduchu |

Seznam odborných termínů a zkratek

| | |
|-----------|---|
| API | Application Programing Interface – programovací rozhraní |
| ARX | dynamická knihovna zajišťující práci s příkazy programu AutoCAD |
| AutoCAD | Software pro počítačem řízené projektování od firmy Autodesk |
| AutoLISP | programovací jazyk pro použití v programu AutoCAD |
| checkbox | zaškrtačací políčko |
| ČHMÚ | Český Hydrometeorologický Ústav |
| DBX | dynamická knihovna pro práci s databází programu AutoCAD |
| DLL | Dynamic Link Library – dynamicky sdílená knihovna |
| entita | grafický objekt v prostředí programu AutoCAD ukládaný do databáze |
| grip | úchopový bod s grafickou značkou zobrazený při výběru entity |
| ObjectARX | programovací rozhraní pro možnosti rozšíření programu AutoCAD |
| SDK | Software Development Kit – sada vývojových nástrojů |
| VBA | Visual Basic for Application – programovací jazyk společnosti Microsoft |
| .NET | platforma sloužící pro podporu při programování |

Úvod

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit aplikaci, která na zadaném stavebním objektu vygeneruje zatížení sněhem a větrem a graficky zobrazí výsledky v systému CAD. Pro tvorbu aplikace byl zvolen vývojový nástroj Visual Studio 2013 společnosti Microsoft. Pro grafické zobrazování a interakci s uživatelem je použit systémem AutoCAD 2016 společnosti Autodesk, který má širokou podporu pro vývoj aplikací třetími stranami.

Bakalářská práce je rozdělena do tří částí. První část tvoří postup výpočtu zatížení sněhem podle normy ČSN EN 1991-1-3 a zatížení větrem podle normy ČSN EN 1991-1-4. V ní se uvádí základní vzorce a postupy definované aktuálními harmonizovanými normami řady Eurocode.

Druhá část je zaměřena na řešení aplikace a tvorby algoritmu. Zde jsou uvedeny možnosti rozšíření programu AutoCAD uživatelskými aplikacemi a důvod volby jazyka C++ s rozhraním ObjectARX. Druhá část také obsahuje popis obsluhy řešené aplikace s přehlednými náhledy a ukázkou algoritmu použitého při výpočtu.

V poslední, třetí části práce je představeno použití aplikace na vzorovém příkladu. Rozpočítání účinků zatížení při působení větru na halovou konstrukci, ověření získaných výsledků ručním postupem a porovnání výpočtu s vybraným komerčním programem.

1 Výpočet zatížení sněhem a větrem

1.1 Výpočet zatížení sněhem dle normy ČSN EN 1991-1-3

Níže je popsáno řešení výpočtu zatížení sněhem za normálních podmínek na jednodlném objektu s pultovou, nebo sedlovou střechou.

Norma dále určuje výpočet zatížení na vícelodních objektech, na válcových střechách, střechách sousedících a přiléhajících k vyšším stavbám a místní účinky zatížení. Tyto výpočty nejsou součástí řešené aplikace, a proto zde nebudou uvedeny jejich postupy.

Zatížení sněhem je v první řadě definováno charakteristickou hodnotou zatížení sněhu na zemi s_k , která se určuje z mapy vypracované ČHMÚ, případně z elektronické mapy vytvořené ČHMÚ ve spolupráci s VŠB-TUO, dostupné na adrese: www.snehovamapa.cz. Sněhová mapa národní přílohy [1] je rozdělena do osmi sněhových oblastí s charakteristickou hodnotou zatížení sněhu na zemi od 0.7 do 4.0 kN/m². Přesné hodnoty pro osmou sněhovou oblast musí být určeny pobočkou ČHMÚ.

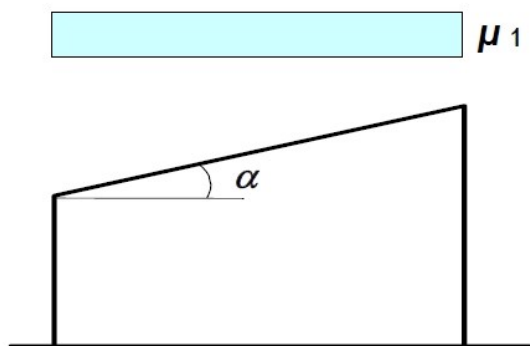
Zatížení na střechách s , pro trvalé/dočasné návrhové situace, je stanoveno vzorcem (1.1).

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (1.1)$$

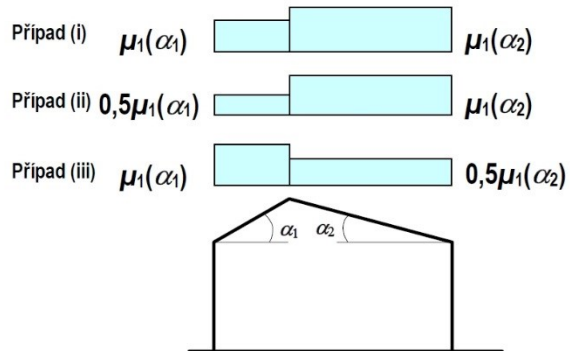
Tvarový součinitel μ_i charakterizuje tvar a uspořádání střechy, jeho hodnota je uvedena v tabulce (). Hodnota součinitele expozice C_e je závislá na typu otevřenosti krajiny, doporučené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5.1 [1]. Tepelný součinitel C_t vyjadřuje snížení zatížení sněhem v důsledku většího prostupu tepla střechou. Ve většině případů je $C_t = 1.0$.

Tabulka 1 - Hodnoty tvarového součinitele

| Úhel sklonu střechy α | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ | $30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ | $\alpha \geq 60^\circ$ |
|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| Tvarový součinitel μ_i | 0.8 | $0.8 (60 - \alpha) / 30$ | 0.0 |



Obr. 1 - Tvarový součinitel pro pultovou střechu



Obr. 2 - Tvarový součinitel pro sedlovou střechu

Zatížení sněhem působí svisle na půdorysné ploše střechy. U sedlových střech je třeba započítat kromě rovnoměrného zatížení také stavy s navátým sněhem, viz (Obr. 2). Pokud jsou na střeše zachytávače sněhu, nebo je spodní okraj střechy ukončen atikou, nemá klesnout tvarový součinitel pod hodnotu 0.8.

U střech zakončených na spodním okraji atikou, řešená aplikace vypočítává zatížení působící na vnitřní stranu atiky jako vodorovnou složku goniometrického rozkladu svislého zatížení na šikmé střeše.

1.2 Výpočet zatížení větrem dle normy ČSN EN 1991-1-4

Tato podkapitola se zabývá postupem výpočtu rychlosti větru a dynamického tlaku větru. Dále je zde uvedeno rozdělení střechy a stěn do oblastí se součiniteli, které charakterizují působení vnějšího tlaku. Jsou zde také uvedeny hodnoty a postupy výpočtů součinitelů vnitřního tlaku.

1.2.1 Výpočet maximálního dynamického tlaku

Získání hodnoty maximálního dynamického tlaku vychází z výchozí základní rychlosti větru $v_{b,0}$, která je specifická pro danou větrnou oblast na území České republiky. Mapa větrných oblastí vypracovaná ČHMÚ je rozdělena do pěti oblastí s $v_{b,0}$ od 22.5 m/s do 36 m/s. V případě páté větrné oblasti určí přesnou hodnotu pobočka ČHMÚ.

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (1.2)$$

Vzorec (1.2) pro výpočet základní rychlosti větru v_b se skládá ze součinitele směru větru c_{dir} s doporučenou hodnotou 1.0, součinitele ročního období c_{season} s doporučenou hodnotou 1.0 a základní výchozí rychlost větru $v_{b,0}$ určené z mapy větrných oblastí.

Výpočet střední rychlosti větru v_m je definován vzorcem (1.3). Střední rychlost větru je závislá na výšce objektu nad terénem z . Do výpočtu vstupuje součinitel drsnosti terénu c_r , součinitel orografie c_o a základní rychlost větru v_b .

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (1.3)$$

Součinitel drsnosti terénu c_r vyjadřuje změnu střední rychlosti větru v důsledku výšky objektu nad terénem a členitosti terénu na návětrné straně objektu zatíženého větrem. Součinitel c_r je vypočítán dle vzorce (1.4) a je závislý na součiniteli terénu k_r vypočítaného ze vzorce (1.5) a drsnosti terénu z_0 určené z tabulky (Tabulka 2), převzaté z normy [2] tabulka 4.1.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{pro} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (1.4)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad \text{pro} \quad z \leq z_{min}$$

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (1.5)$$

kde z_{min} je minimální výška definovaná v tabulce (Tabulka 2), z_{max} se uvažuje 200 m a $z_{0,II}$ je parametr drsnosti pro druhou kategorii terénu.

Tabulka 2- Kategorie terénu a jejich parametry

| Kategorie terénu | z_0 [m] | z_{min} [m] |
|--|-----------|---------------|
| 0 Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři | 0,003 | 1 |
| I Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek | 0,01 | 1 |
| II Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenost je větší než 20násobek výšky překážek | 0,05 | 2 |
| III Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les) | 0,3 | 5 |
| IV Oblasti, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m | 1,0 | 10 |
| POZNÁMKA Kategorie terénu jsou zobrazeny v A.1. | | |

Postup výpočtu součinitele orografie C_o je uveden v příloze A.3. [2]. Tento výpočet není součástí řešené aplikace, a proto zde nebude dále rozebrán. Pro situace, které nejsou uvedeny v příloze A.3. [2] je $C_o = 1.0$, viz doplňující informace národní přílohy NA 2.13 [2].

Pro výpočet maximálního dynamického tlaku je třeba vypočítat intenzitu turbulence větru I_v dle vzorce (1.6). Intenzita turbulence je závislá na výšce objektu z , součiniteli orografie C_o , parametru drsnosti terénu z_0 a součiniteli turbulence k_t s doporučenou hodnotou 1.0.

$$I_v(z) = \frac{k_t}{C_o(z) \ln(z/z_0)} \quad \text{pro} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (1.6)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \quad \text{pro} \quad z \leq z_{min}$$

Síla tlaku působící od účinku větru je charakterizována maximálním dynamickým tlakem q_p . Maximální dynamický tlak zahrnuje střední a krátkodobé fluktuace rychlosti větru a je vypočítán dle vzorce (1.7).

$$q_p(z) = [1 + 7 I_v(z)] \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(z) \quad (1.7)$$

kde ρ je měrná hmotnost vzduchu s doporučenou hodnotou 1.25 kg/m^3 .

Tlak větru na povrchu w je stanoven vzorcem (1.8). Určení součinitelů tlaku C_p pro vnější zatížení větrem je rozebráno v kapitole 1.2.2, pro zatížení vnitřním tlakem pak v kapitole 1.2.3.

$$w = q_p(z) \cdot C_p \quad (1.8)$$

1.2.2 Součinitele vnějších tlaků na vybraných objektech

Součinitele vnějšího tlaku jsou rozděleny na součinitel $C_{pe,1}$, pro plochy o velikosti 1 m^2 a $C_{pe,10}$, pro plochy větší jak 10 m^2 . Mezilehlé hodnoty lze lineárně interpolovat. Hodnoty C_{pe} jsou normou doporučeny a lze je vyčíst z tabulek pro jednotlivé plochy objektu zatíženého větrem.

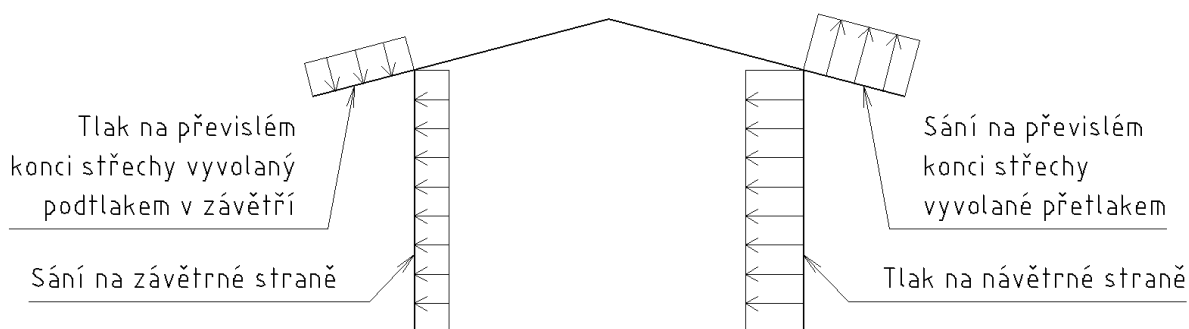
Svislé stěny pozemních staveb s pravoúhlým půdorysem jsou rozděleny do pěti oblastí s písmenným označením A, až E. Hodnota součinitelů je závislá na poměru h/d , tedy poměru výšky řešené oblasti k délce stěny kolmé na směr větru. V závislosti výšky objektu na délce stěny rovnoběžné se směrem působení větru se mění i poměr h/d , viz obrázek 7.4 [2]. Přiřazení oblastí pro svislé stěny je znázorněno na obrázku 7.5 [2]. Hodnoty součinitelů jsou uvedeny v tabulce 7.1 [2]. Mezilehlé hodnoty poměru h/d lze lineárně interpolovat.

Pokud působí síla větru současně na návětrné i závětrné straně (oblasti D a E), lze vzít u těchto oblastí v úvahu nedostatečnou korelaci tlaků větru $K_{korelace}$ určenou podle vzorce (1.9).

$$K_{korelace} = 1.0 \quad \text{pro} \quad h/d \geq 5 \quad (1.9)$$

$$K_{korelace} = 0.85 \quad \text{pro} \quad h/d \leq 1$$

V souladu se článkem 7.2.1 (3) [2] jsou přečnívající okraje střech na své spodní straně zatíženy stejným zatížením jako stěna pod přesahem, viz (Obr. 3). Horní strana přesahů je zatížena tlakem působícím na střešní rovinu.



Obr. 3 - Zatížení přesahů střech

Řešená aplikace generuje vnější tlaky větru na plochých, pultových a sedlových střechách. Mansardové střechy ani střechy vícelodních budov nejsou do výpočtové aplikace zahrnuty.

Ploché střechy se dělí na pět oblastí, viz obrázek 7.6 [2]. Jejich součinitele C_{pe} s písmenným označením F, až I jsou uvedeny v tabulce 7.2 [2]. Hodnoty součinitelů závisí na typu ukončení hrany střechy. Řešená aplikace nezahrnuje u plochých střech zakřivené a mansardové hrany.

Rozdělení oblastí u pultových střech je patrné z obrázku 7.7 [2]. Součinitele C_{pe} pro oblasti pultové střechy jsou závislé na sklonu střechy a na směru větru. Jejich hodnoty v závislosti na sklonu střech a orientaci pultové roviny ke směru působení větru uvádí tabulky 7.3a a 7.3b [2].

Sedlové střechy jsou rozděleny na šest oblastí, viz obrázek 7.8 [2]. Součinitele C_{pe} s písmenným označením F, až J jsou uvedeny v tabulce 7.4a a 7.4b [2]. Hodnoty tvarových koeficientů rovněž závisí na úhlu sklonu a směru větru.

Pokud hodnoty součinitele mohou nabývat pro jeden sklon kladných i záporných hodnot, musí se uvážit všechny stavy s kombinací těchto hodnot. Pro pultové a sedlové střechy však musí platit, že na jedné střešní rovině se současně vyskytují pouze hodnoty se stejnými znaménky.

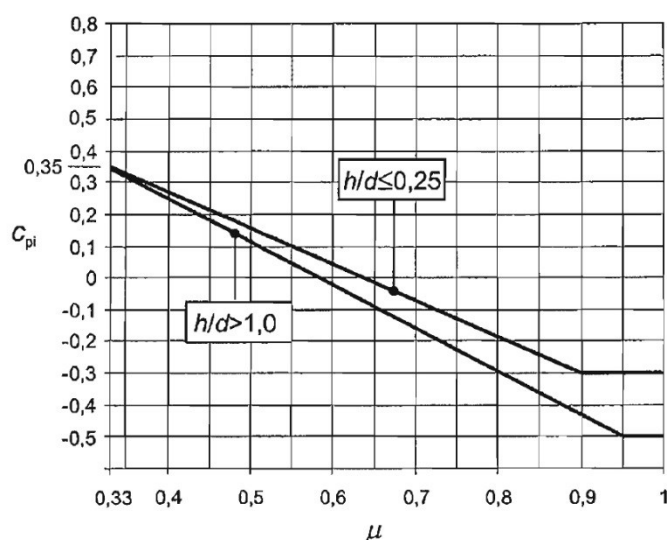
Norma [2] u sedlových a pultových střech neuvádí postup výpočtu pro střechy ukončené atikou. Řešená aplikace při výpočtu tvarových koeficientů atiky nijak nezohledňuje a počítá, jako by byla střecha ukončena ostrou hranou. Tento princip výpočtu je na stranu bezpečnou a záleží pouze na uživateli, zdali tento postup výpočtu akceptuje.

1.2.3 Součinitele vnitřního tlaku

Vnitřní tlak působí současně s vnějším tlakem. Vnitřní tlak závisí na velikosti a rozdělení otvorů v plášti objektu. Pokud je nejméně na dvou stranách objektu součet otvorů na dané straně větší než 30% plochy této stěny, nebo střechy, použijí se pro výpočet vnějších a vnitřních tlaků součinitele pro otevřené přístřešky a volně stojící stěny.

Součinitel vnitřního tlaku c_{pi} se vyhodnotí z grafu (Obr. 4) pro každý směr větru. Součinitel c_{pi} je závislý na poměru otvorů μ a poměru h/d (výška budovy k délce stěny rovnoběžné se směrem větru). Pro výpočet poměru otvorů platí vzorec (1.10).

$$\mu = \frac{\sum \text{ploch otvorů kde } c_{pe} \leq 0.0}{\sum \text{ploch všech otvorů}} \quad (1.10)$$



Obr. 4 - Součinitel vnitřního tlaku

Pokud je na jedné straně objektu součet všech ploch dvakrát větší než součet ploch na zbývajících stranách, považuje se tato strana za rozhodující fasádu. Pro součinitel vnitřního tlaku rozhodující fasády pak platí vzorec (1.11). Pokud je plocha otvorů na rozhodující fasádě třikrát větší než plocha na ostatních fasádách, platí pro c_{pi} rozhodující fasády vzorec (1.12). Mezi poměry pro výpočet c_{pi} rozhodující fasády lze lineárně interpolovat.

$$c_{pi} = 0.75 c_{pe} \quad (1.11)$$

$$c_{pi} = 0.90 c_{pe} \quad (1.12)$$

kde c_{pe} je hodnota součinitele vnějšího tlaku v místě otvorů na rozhodující fasádě.

V souladu s poznámkou 2 článek 7.2.9 [2] jsou v řešené aplikaci zahrnuty vnitřní tlaky s koeficienty +0.2 a -0.3.

2 Popis řešené aplikace

2.1 Možnosti rozšíření programu AutoCAD

AutoCAD je CAD systémem s otevřenou strukturou, díky níž lze program dále rozšiřovat o zásuvné moduly. AutoCAD podporuje řadu vývojových prostředků, níže je uveden seznam vybraných nástrojů s jejich popisy.

Záznamová makra a dynamické bloky

Základní možnosti rozšíření jsou záznamová makra a dynamické bloky vytvářené přímo v grafickém rozhraní samotného programu. Záznamové makro zachytí za sebou jdoucí příkazy vykonávané v prostředí AutoCADu, které lze následně spustit v přesně se opakující sekvenci kroků. Dynamické bloky jsou již komplexnější, umožňují uživateli vytvářet objekty, přiřazovat jim vzorce a definice podle kterých se chovají. Takto lze například nadefinovat dynamický blok zobrazující průřez určitého profilu s možností výběru jeho velikosti.

AutoLISP

AutoLISP vychází z programovacího jazyka LISP a byl vyvinutý firmou Autodesk pro účely uživatelského rozšíření programu AutoCAD. AutoLISP je součástí AutoCADu již od verze 2.18 z roku 1986, avšak dnes už je téměř vytlačen novějšími programovacími nástroji. Přesto zůstává AutoLISP silným nástrojem, pomocí kterého se dá pracovat s grafickými elementy v prostředí AutoCADu, řídit zadávání příkazů a také načítat a upravovat data v rozsáhlých databázích samotného programu. Vývojové prostředí je součástí AutoCADu a lze jej vyvolat příkazem „VLIDE“.

VBA

Programovacím jazykem Visual Basic for Application společnosti Microsoft lze rovněž vytvářet uživatelské rozšíření programu AutoCAD. Možnosti tvorby doplňků jsou podobné jako u programovacího jazyka AutoLISP. Jazyk VBA je však mnohem bližší dnešním standardním programovacím jazykům. Ale i VBA je již vytlačeno modernějšími a pokročilejšími prostředky a nyní už ani není součástí instalace AutoCADu.

.NET

Programovacím nástrojem, který je v současnosti na vzestupu a firmou Microsoft silně podporován, je platforma .NET, která pod sebou sdružuje soubor vývojových nástrojů, knihoven a prostředí pro běh aplikací. Platforma .NET přináší plnohodnotné možnosti objektového programování a hlubších vazeb na prostředí AutoCADu. Aplikace může být psána v jakémkoliv jazyce podporované platformou, jako například C++, C# nebo VB .NET. K vývoji aplikace je však nutno použít samostatného vývojového prostředí, jakým je například Visual Studio společnosti Microsoft a programového balíku ObjectARX SDK, který je volně dostupný na stránkách společnosti Autodesk.

Platforma .NET má své výhody v používání uživatelsky přívětivých programovacích jazyků, poskytuje možnosti objektového programování a dosahuje relativně velkých rychlostí výpočtů a operací.

Avšak má i své nevýhody. Protože .NET pouze zabaluje (takzvaně Wrapuje) funkce ObjectARXu, stává se tím pádem pomalejším pro chod aplikací s hybridním nativním kódem. Další velkou nevýhodou je to, že není možné vytvářet vlastní (uživatelské) entity AutoCADu. Entitou se v systému AutoCAD míní grafický objekt s vlastními strukturovanými daty a s případnými vazbami na jiné objekty grafické databáze.

ObjectARX

ObjectARX je sada vývojových nástrojů (SDK), které zahrnují programové rozhraní (API) a knihovny tříd pro přímou práci s AutoCADem na jeho základní úrovni. Plnohodnotnou práci s tímto prostředím zajišťuje pouze programovací jazyk C++, ve kterém jsou vytvořeny všechny knihovny a nástroje samotného prostředí ObjectARX. Pro použití ObjectARXu při vývoji doplňků AutoCADu je za potřebí stejně jako u platformy .NET samostatného vývojového prostředí, například Visual Studio. Výstupem při práci s rozhraním ObjectARX jsou dynamické knihovny, které se načítají do prostředí AutoCADu. Uživatelské knihovny jsou tak integrovány do stejného prostoru paměťových adres jako AutoCAD a zajišťují přímou interakci s jeho prostředím. Rozdělujeme knihovny typu ARX, což jsou třídy a funkce spjaté s příkazy AutoCADu, a typu DBX, které zajišťují přímou spolupráci s entitami a dalšími datovými objekty databáze.

ObjectARX je mocným nástrojem, kterým lze ovládat a vyvíjet nové funkce AutoCADu a také jediným nástrojem, který umožňuje tvorbu uživatelských entit a objektů, které jsou

ukládány do databází programu AutoCAD. Aplikace vytvořené pomocí ObjectARXu pracují na nejnižší, tedy nativní úrovni AutoCADu. Tím je zajištěna vysoká rychlost chodu uživatelské aplikace.

Nevýhodou při používání sady ObjectARX může být jazyk C++, který vyžaduje vyšší nároky na znalosti programování a u kterého se musí, na rozdíl od platformy .NET, důsledně dodržovat pravidla pro práci s pamětí počítače. Další nevýhodou je skutečnost, že daná verze rozhraní ObjectARX je kompatibilní pouze s odpovídající verzí programu AutoCAD. Uživatelská aplikace proto musí být sestavena zvlášť pro každou verzi a platformu programu AutoCAD.

2.2 Volba vývojového nástroje pro tvorbu aplikace

Pro potřeby řešené aplikace bylo vybráno programové rozhraní ObjectARX s použitím jazyka C++. Jak už bylo zmíněno, jako jediný umožňuje tvorbu uživatelských grafických objektů, které jsou zapisovány do databáze AutoCADu. Tyto grafické objekty, entity, umožňují přesně řídit možnosti vykreslování a lze interaktivně měnit jejich geometrii pomocí takzvaných grip bodů. Grip bod, česky bod úchopu, je bod s grafickou značkou definovaný na určitém místě grafické entity, který umožňuje uživateli měnit geometrii objektu prostým tažením tohoto bodu, nebo se jeho aktivací vyvolá kontextová nabídka.

Cílem této práce bylo vytvořit uživatelsky přívětivou - komfortní aplikaci, kdy uživatel ihned vidí všechny změny, které na stavebním objektu provádí. Tohoto cíle mohlo být dosaženo pouze za předpokladu vytvoření uživatelské entity.

Grafické entity si s sebou navíc mohou nést, kromě dat potřebných pro vykreslování, i další informace. V případě řešené aplikace se jedná o poměrně rozsáhlou sadu proměnných popisujících veškeré typy zatížení pro každý zatěžovací stav.

2.3 Popis řešené aplikace

Tato podkapitola je rozdělena do tří částí. První část se zaměřuje na popis vlastností uživatelské grafické entity definující stavební objekt, na postup zavedení této entity do programu AutoCAD a na možnosti následných editací.

Druhá část ukazuje obsluhu generátoru sněhu a větru, nastavení parametrů generátorů a možnosti zobrazení výsledků.

V poslední třetí části je popsána architektura samotné aplikace a ukázka algoritmu sčítání účinků zatížení větru na střeše s přesahy.

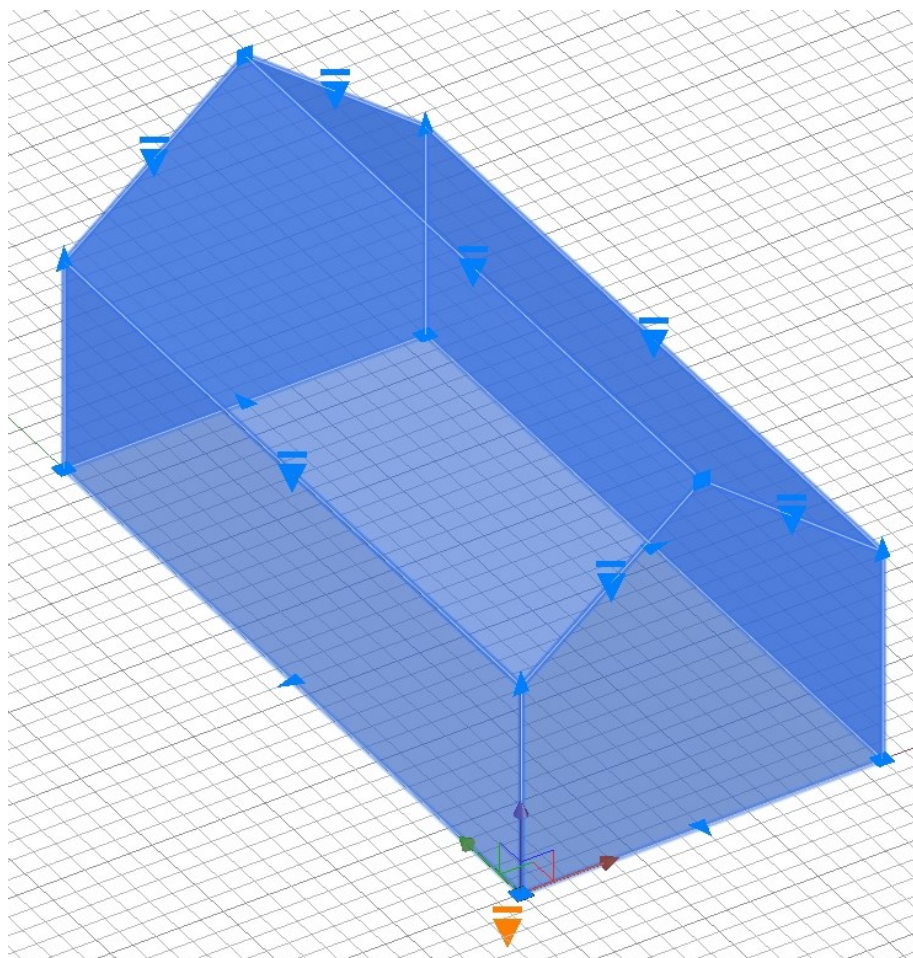
2.3.1 Popis grafické entity a její zavedení do programu AutoCAD

Řešená aplikace se skládá ze dvou dynamických knihoven „DBX.dbx“ a „Building.arx“, které jsou přiloženy na CD ve složce „Aplikace“. Bližší popis těchto knihoven je uveden v kapitole 2.3.3.

Zde je třeba upozornit, že přiložené dynamické knihovny jsou sestaveny pouze pro verzi AutoCADu 2016 x64.

Dynamické knihovny se zavádí do programu Autocad přes položku „Načíst aplikaci“ na záložce „Správa“. V dialogovém okně je potřeba nalézt cestu na výše zmíněné dynamické knihovny a ty načíst v přesně daném pořadí. Nejprve je třeba natáhnout knihovnu „DBX.dbx“ a teprve potom knihovnu „Building.arx“.

Po úspěšném načtení aplikace je možno vyvolat vlastní příkaz pro zavedení obecného stavebního objektu, do příkazového řádku se napíše slovo „JSBUILD“. Po zadání příkazu se natočí pohled do axonometrie a je požadován vkládací bod. Po jeho zadání je vytvořena defaultní entita stavebního objektu se sedlovou střechou, viz (Obr. 5).



Obr. 5 - Grafická entita stavebního objektu se zobrazenými gripy

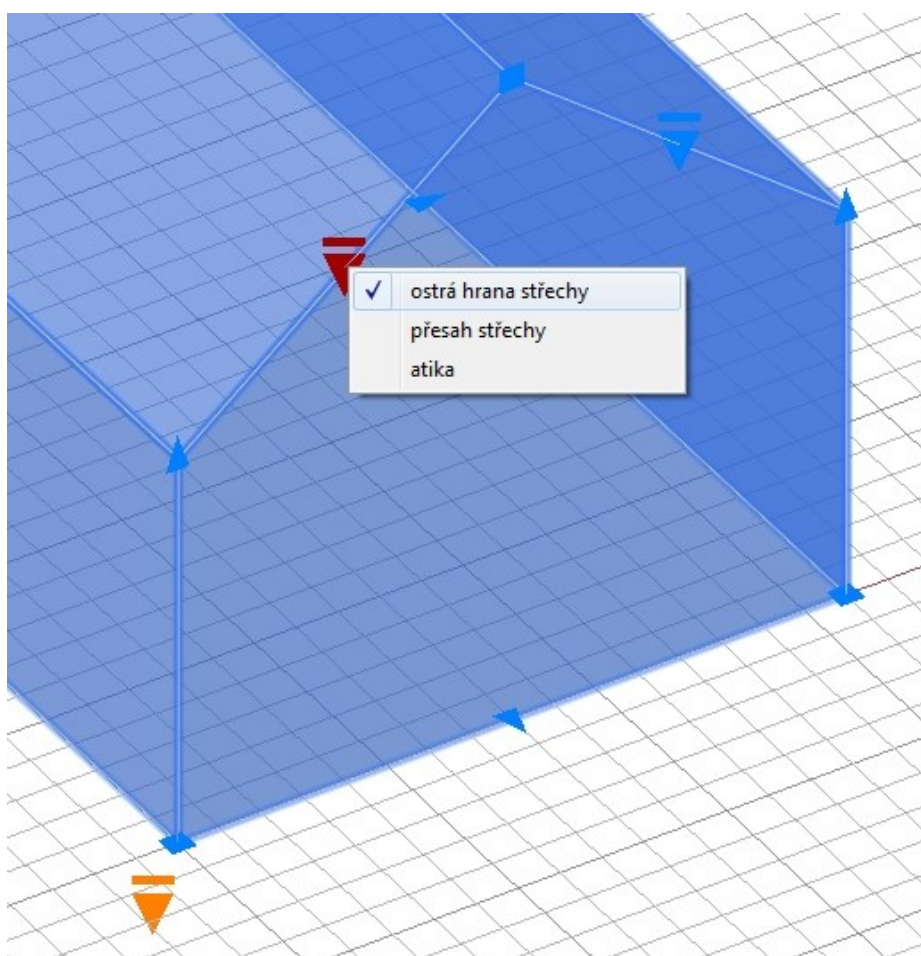
Pro změnu rozměrů, typů střech, přesahů a atik je třeba vytvořenou entitu vybrat, čímž se zobrazí přednastavené úchytné body. Tyto body lze levým tlačítkem myši aktivovat a posouvat, čímž se zobrazí i dynamické kóty, nebo se aktivuje výběr z kontextového menu.

Řešená entita obsahuje několik druhů těchto grip bodů, viz (Obr. 5). Čtvercové grip body lze posouvat v rovině, ve které jsou vykresleny, například spodní rohové body objektu lze posouvat pouze v rovině definované podstavou objektu.

Grip body ve tvaru úzké šipky lze posouvat pouze v ose vykreslené šipky, například šipky uprostřed spodní hrany stěn, nebo šipky v rozích střechy.

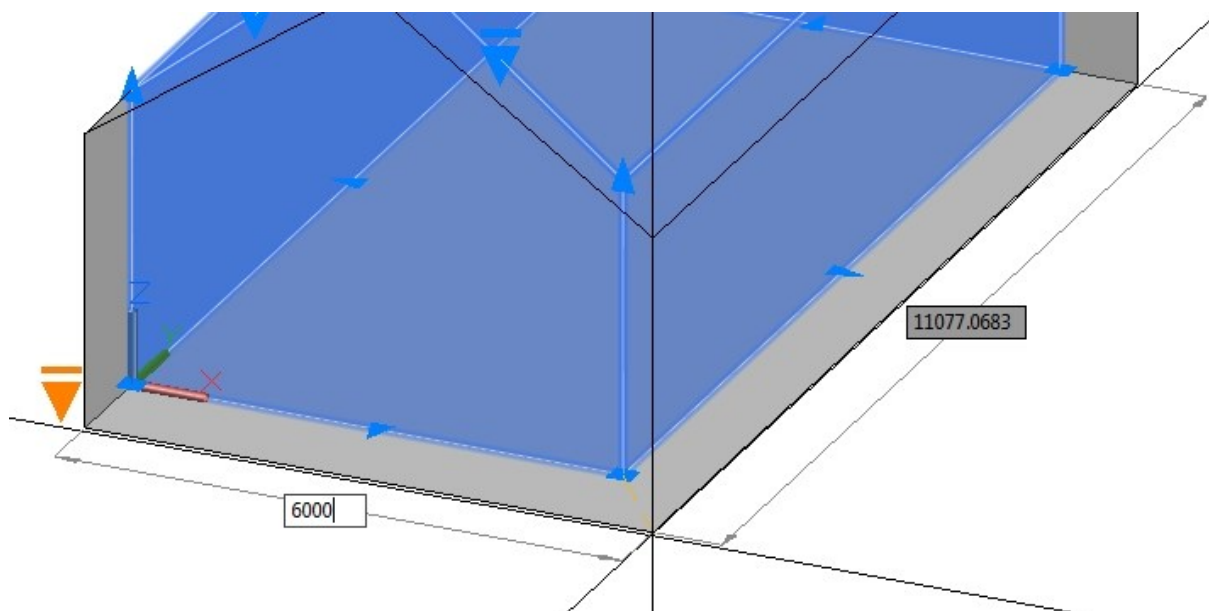
Posledním typem Grip bodů jsou šipky s malým obdélníčkem. Tyto grip body nelze přetahovat. Po kliknutí levým tlačítkem myši na tento grip se zobrazí kontextová nabídka s možnostmi dalších úprav, viz (Obr. 6).

Zvláštní význam pak má grip bod vykreslený oranžovou barvou. Po kliknutí na tento oranžový grip se zobrazí menu, ze kterého se volají funkce pro generování zatížení a také pro zobrazení výsledků.



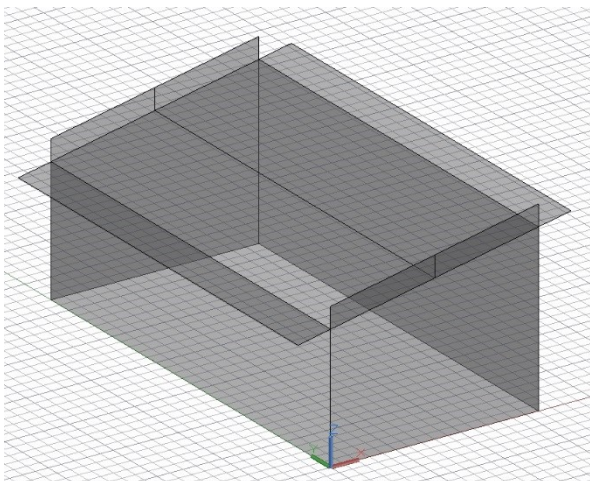
Obr. 6 - Grip bod se zobrazeným menu možností úprav

Pro jednoduchou práci při úpravě rozměrů objektu jsou pro všechny gripy, kterými lze přetahovat a měnit geometrii, zavedeny dynamické kóty. Tyto kóty se zobrazí už při najetí myši nad grip a aktivují se v případě výběru úchytného bodu. Uživatel sleduje změny vzdáleností, případně může hodnoty kót pevně nastavit, čímž se definuje přesná pozice vybraného bodu, viz (Obr. 7).

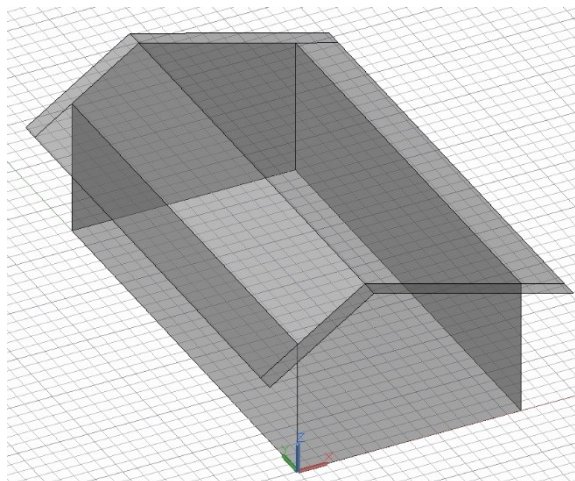


Obr. 7 - Dynamické kóty při tahání grip bodu s pevným nastavením šířky objektu

Výše zmíněnými postupy lze editovat vybranou entitu stavebního objektu a vytvořit z ní tak objekt se sedlovou, plochou, nebo pultovou střechou libovolných rozměrů. Každé hraně střechy stavebního objektu lze nastavit způsob ukončení ze zadaných možností a to buď defaultní ostrá hrana, atika, nebo ukončení přesahem. Jakmile je vybrán typ ukončení střešní roviny, entita se ihned překreslí a zobrazí se další doplňkové grip body pro úpravu velikosti daného ukončení. Pomocí úchytného bodu umístěného uprostřed hřebene střechy uživatel volí mezi sedlovou anebo rovnou či pultovou střechou. Modelové příklady úpravy defaultní entity jsou zobrazeny na obrázcích (Obr. 8) a (Obr. 9).



Obr. 8 - Příklad pultové střechy s přesahy a atikami na bocích střechy



Obr. 9 – Příklad nesymetrické sedlové střechy s přesahy po celém obvodu střechy

2.3.2 Generování zatížení a zobrazení výsledků

Pokud uživatel již nastavil všechny požadované rozměry a typy ukončení hran střechy je potřeba nastavit parametry generátoru. Toto nastavení probíhá v dialogovém okně vyvolaného přímo z grafického rozhraní AutoCADu. Po výběru vytvořené entity stavebního objektu lze kliknutím na oranžový grip zobrazit kontextovou nabídku a vybrat možnost „Generuj zatížení“. Zobrazí se dialogové okno, viz (Obr. 10).

V dialogu je patrné rozdělení pro generátor zatížení sněhem a generátor zatížení větrem. Generování zatížení lze zapnout a vypnout zaškrtnutím checkboxu umístěného vedle názvu zatížení.

V oblasti nastavení parametrů zatížení sněhem uživatel volí sněhovou oblast z rolovací nabídky sněhových oblastí. Součástí nabídky je také možnost zadat charakteristickou hodnotu zatížení sněhem s_k ručně do editačního okénka umístěného pod touto rolovací nabídkou. Volbou checkboxu „zahrnout kombinace navátého sněhu“ je definováno u sedlových střech, zdali mají být zahrnuty zatěžovací stavy s navátým sněhem, viz kapitola (1.1), obrázek (Obr. 2), případ (ii) a případ (iii).

Parametry součinitele expozice C_e a tepelného součinitele C_t se nastavují v dialogovém okně zobrazeném po stisknutí tlačítka s názvem „Rozšířené“ umístěného v oblasti s parametry zatížení sněhem.

Obr. 10 - Dialogové okno s nastavením parametrů generátorů

Zbytek dialogového okna zaujímá nastavení parametrů pro generátor zatížení větrem. V této části, podobně jako u zatížení sněhem, je rolovací nabídka pro výběr větrné oblasti. Z této nabídky může uživatel opět volit mezi jednotlivými větrnými oblastmi a ručním zadáním hodnoty základní rychlosti větru $v_{b,0}$. Pod editačním okénkem zobrazující základní rychlost větru se nachází rolovací nabídka s volbou kategorie terénu.

V prostřední části dialogu je zobrazeno schéma aktuálního typu střechy, na obrázku (Obr. 10) vyobrazena v dialogu sedlová střecha s checkboxy rozmístěnými na všech čtyřech stranách. Tyto checkboxy definují volby směru větru, které budou generátorem zahrnuty do zatěžovacích stavů.

Spodní část oblasti je pak věnována nastavení vnitřního tlaku větru. Nachází se zde volba, zdali má být vnitřní přetlak a podtlak zahrnut do výpočtu a jestli mají být tyto tlaky vytvořeny jako samostatné zatěžovací stavy, nebo skombinované s tlaky od vnějšího působení větru.

Řešená aplikace v současné podobě zahrnuje vnitřní tlaky pouze jako pevně nastavené hodnoty podtlaku (+0.2) a přetlaku (-0.3), proto je poslední možnost nastavení výpočtu vnitřního tlaku defaultně nastavena na tyto hodnoty a nelze ji měnit.

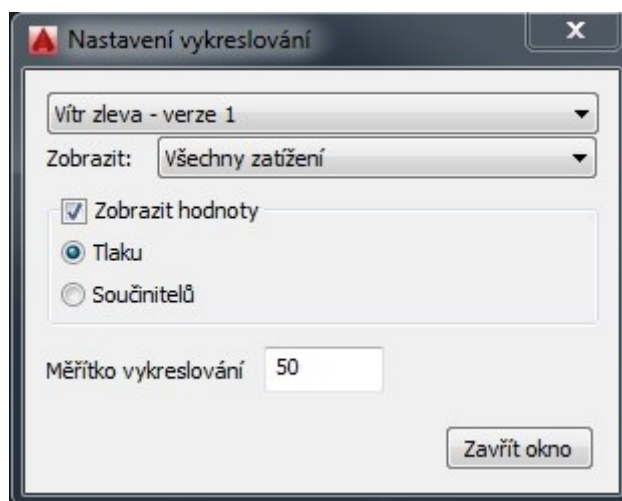
Pro nastavení veškerých součinitelů výpočtu maximálního dynamického tlaku větru slouží tlačítko s názvem „Rozšířené“ umístěné vedle rolovací nabídky volby kategorie terénu. Po stisknutí tohoto tlačítka se zobrazí nové dialogové okno, viz (Obr. 11).

Obr. 11 - Dialogové okno nastavení součinitelů zatížení větrem

V dialogovém okně nastavení součinitelů zatížení větru jsou parametry určené k editaci a ostatní součinitele, které se po změně parametrů automaticky dopočítávají. Poslední položku v tomto dialogovém okně tvoří spočítaný maximální dynamický tlak $q_p(z)$, který je určující hodnotou pro velikost zatížení větrem. Stiskem tlačítka „OK“ jsou nastavené hodnoty předány mateřskému dialogu generátoru zatížení a dialog je uzavřen.

Po nastavení požadovaných parametrů na dialogu generátoru zatížení se stisknutím tlačítka „OK“ automaticky vytvoří zatěžovací stavy a naplní hodnoty koeficientů podle zvolených možností.

Zobrazení dialogu s možnostmi vykreslování výsledků probíhá stejným postupem jako zobrazení dialogu generátoru zatížení. Z kontextové nabídky oranžového gripu je však vybrána položka „zobraz výsledky“, ta se zpřístupní pouze po úspěšném vygenerování zatížení. Zobrazený dialog, obrázek (Obr. 12), je takzvaně nemodální. Nemodální dialog značí, že dialog je zobrazen po celou dobu běhu programu a jeho ukončení je volbou uživatele. Po celou dobu aktivace formuláře lze provádět jakékoliv operace v prostředí AutoCADu.



Obr. 12 - Dialog s nastavením vykreslování

První položkou dialogu s možnostmi vykreslování je rolovací nabídka s výběrem zatěžovacího stavu. V této nabídce se zobrazují všechny zatěžovací stavy vytvořené generátory zatížení sněhem a větrem.

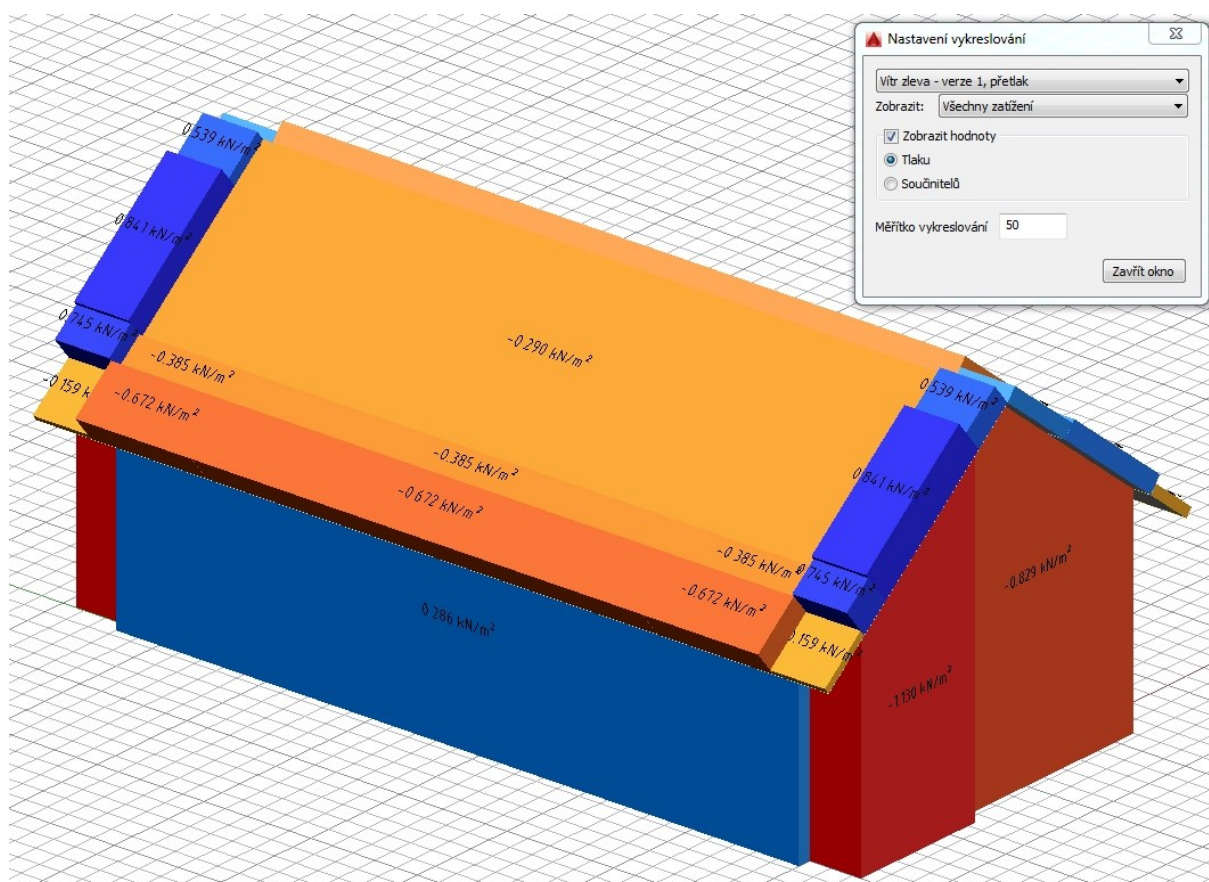
Další rolovací nabídku tvoří výběr složky zatížení, která se má zobrazit. Tato možnost je přístupná, pouze pokud je zatěžovací stav složen z více složek zatížení. Těmito složkami mohou být zatížení vnějším tlakem působícím na stěny a střechu, nebo zatížení objektu vnitřním tlakem.

V prostřední části dialogu se nachází možnosti vypisování hodnot do grafické reprezentace plošných zatížení objektu. Zde je možno zvolit buď nevykreslovat žádné hodnoty, pokud nebude zaškrtnut checkbox „Zobrazit hodnoty“ a dále možnosti zobrazit hodnoty plošného tlaku, nebo hodnoty jednotlivých součinitelů vytvořených oblastí.

Poslední možností je nastavení měřítka pro vykreslení míry vysunutí grafických kvádrů znázorňujících plošné zatížení.

Změny provedené na dialogu vykreslování se ihned projeví na vybrané entitě. Toto chování aplikace opět přispívá k uživatelské přívětivosti.

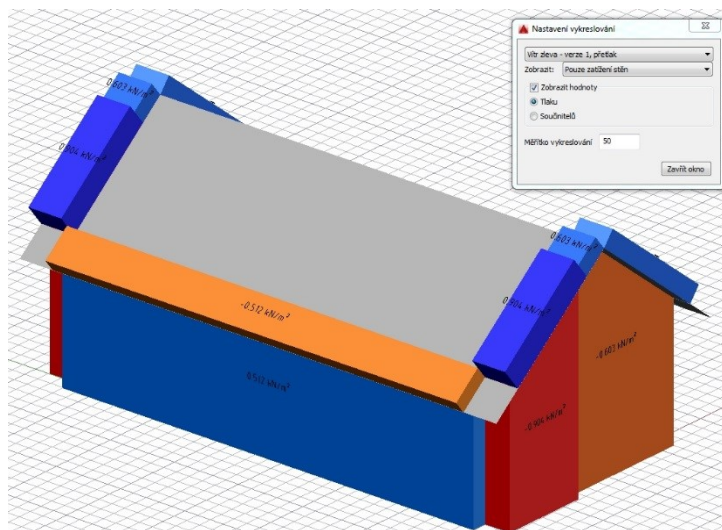
Výsledky vygenerovaných zatížení jsou prezentovány grafickými kvádry vytaženými na vnější stranu zatěžovaných oblastí, viz (Obr. 13). Velikost vytažení každého kvádrů závisí na síle tlaku dané oblasti a na již zmíněném měřítku vykreslování. Grafické kvádry znázorňující zatížení větrem jsou barevně rozlišeny do dvou barevných škál. Rozptýl modrých barev reprezentuje zatížení tlakem. Zatížení sáním větru je pak reprezentováno škálou od žluté barvy do sytě červené.



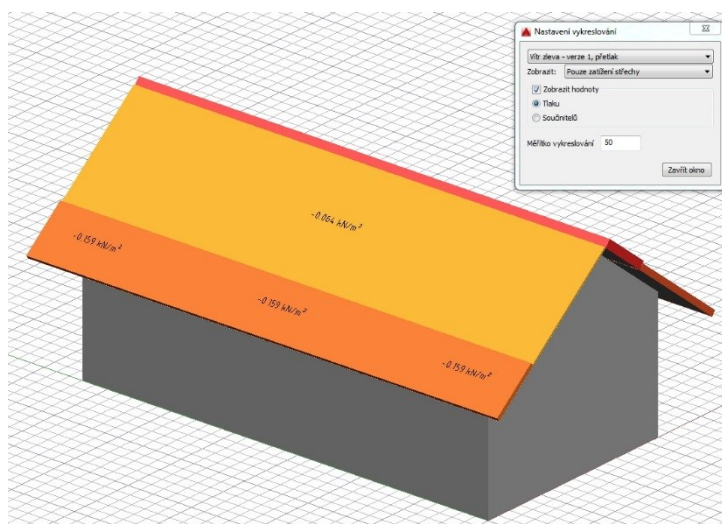
Obr. 13 - Příklad vykreslení zatížení na objektu se sedlovou střechou s přesahy, při působení větru z levé strany a se započítaným vnitřním tlakem

Na obrázcích (Obr. 14), (Obr. 15) a (Obr. 16) je prezentována možnost zobrazení pouze vybraných zatěžovacích složek, která se spolu sčítají do výsledných oblastí. Objekt vykreslený na obrázcích (Obr. 14 – 16) je totožný jako na obrázku (Obr. 13).

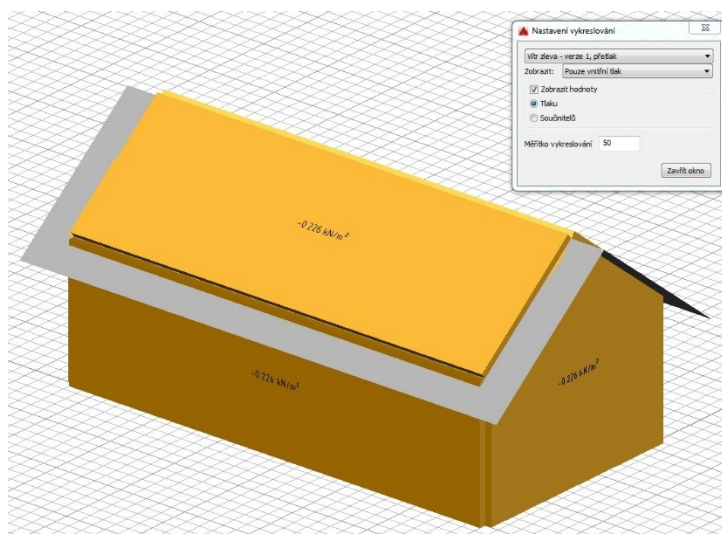
Ukázka vygenerovaného zatížení sněhem je na obrázku (Obr. 17).



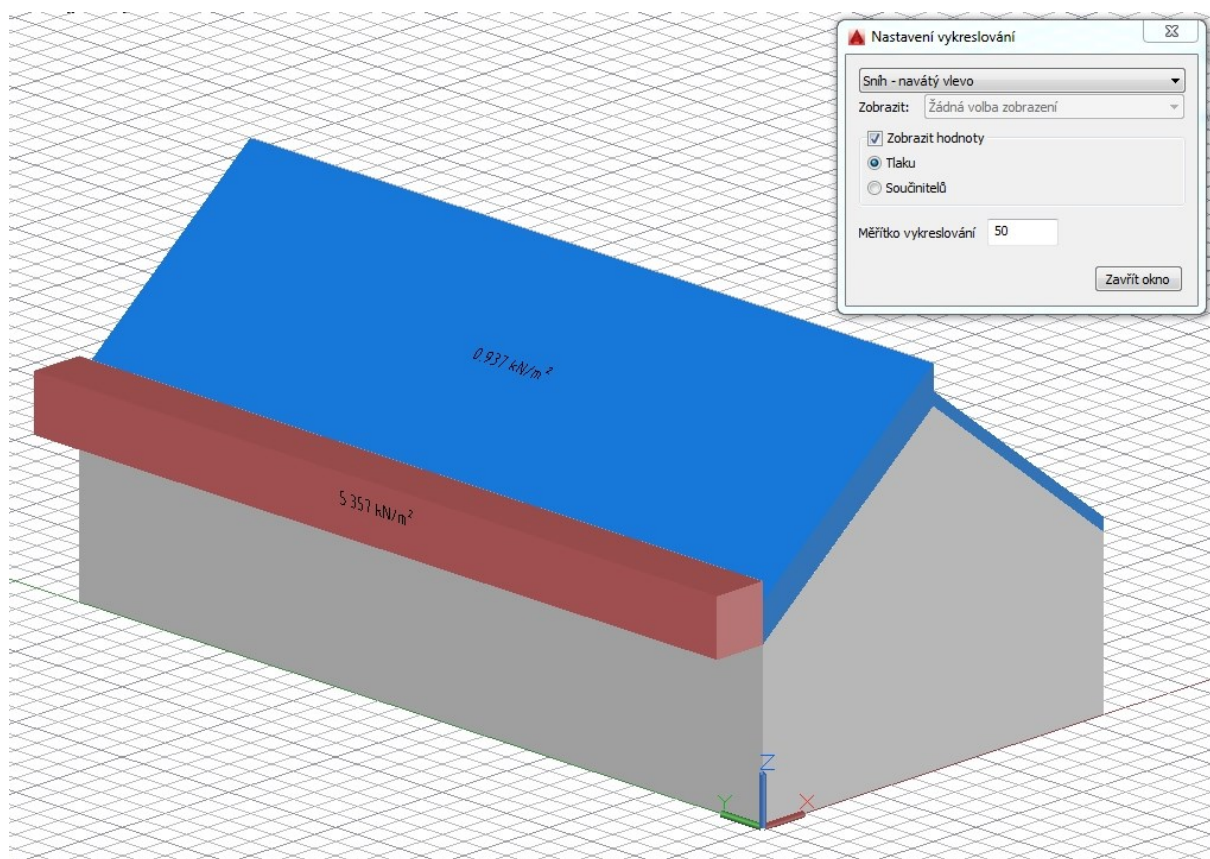
Obr. 14 - Vykreslení jen zatížení stěn a korespondujícího zatížení na přesazích střechy



Obr. 15 - Vykreslení jen zatížení působící na střechu objektu



Obr. 16 - Vykreslení jen zatížení vnitřním tlakem



Obr. 17 - Vykreslení zatížení sněhem navátým vlevo na objektu s atikou

2.3.3 Struktura aplikace

Jak již bylo zmíněno, aplikace se sestává ze dvou dynamických knihoven typu ARX a DBX. Knihovna ARX obsahuje především funkci zavádějící do prostředí AutoCAD nový příkaz, kterým se volá vytvoření uživatelské entity. V knihovně DBX jsou obsaženy všechny třídy a funkce zajišťující vykreslování, generování zatížení a práci s entitou.

Hlavní objekt knihovny DBX tvoří třída JsdbBuilding¹ odvozená z objektové třídy AcDbEntity. AcDbEntity je základní třída pro všechny databázové objekty s grafickou reprezentací v prostředí AutoCADu. Vybrané virtuální metody děděné z mateřské třídy AcDbEntity je třeba přetížít a definovat tak potřebné chování entity. Mezi přetížené funkce patří především vykreslování entity, zápis a načtení struktury grafického objektu do databáze, definice grip bodů s dynamickými kótami a chování objektu při posunu těchto gripů.

Vytvořená třída má své privátní proměnné, které definují rozměry objektu, typy zvolených ukončení střechy a umístění entity v globálním souřadném systému AutoCADu. Důležitou proměnou řešené třídy je strukturované pole se záznamem všech zatěžovacích stavů. Toto pole zatížení je plněno vytvořenými funkcemi třídy JsdbBuilding volaných z dialogu generátoru zatížení po stisku tlačítka „OK“.

Knihovna DBX dále obsahuje třídy jednotlivých dialogů a prostředky (Resource Files). V prostředcích jsou uloženy jednotlivá rozvržení dialogů a také bitové mapy použité pro vykreslení typu střechy na dialogu generátoru zatížení, viz (Obr. 10).

Jako příklad zde bude uveden algoritmus sčítání oblastí střechy s přesahy. V místě přesahů se sčítají účinky vnějšího tlaku větru na střeše a účinky vnějšího tlaku na spodní straně přesahů vyvolané působením větru, viz (Obr. 3).

K celkovému pochopení ukázky algoritmu, je potřeba vysvětlit strukturu ukládání zatěžovacích stavů. Pro zjednodušení bylo zvoleno ukládat vygenerované zatížení z generátoru větru pro jeden zatěžovací stav do takzvaných zatěžovacích vln. Vlnou se zde myslí pouze určitá část zatížení působící na objekt. V případě řešené aplikace je pro jeden zatěžovací stav vytvořeno pět zatěžovacích vln. Jedná se o složky větru působící na stěny a

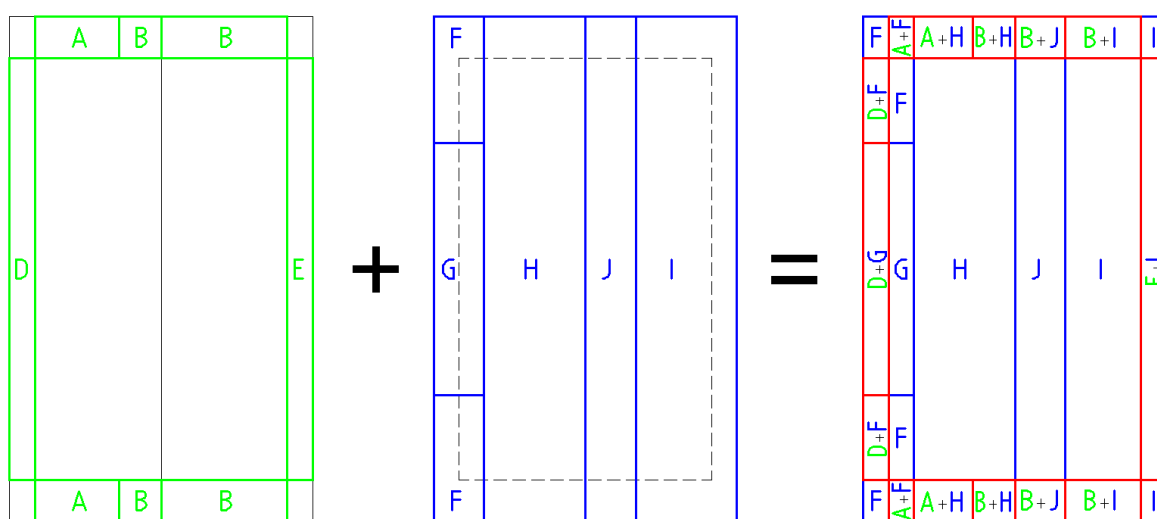
¹ Je dobrou praxí označovat všechny vytvářené třídy specifickou předponou, v tomto případě „Jsdb“, kdy „Js“ jsou iniciály autora a „db“ značí, že se jedná o databázový objekt. Tímto je eliminován konflikt s jiným uživatelským rozšířením, který by mohl mít potenciálně stejný název.

atiky, střechu, přesahy střechy a vnitřní tlak, či přetlak. Poslední zatěžovací vlnou je součet všech dříve uvedených vln.

Nejkomplikovanější oblast zatěžování objektu větrem představuje střecha, zde bylo použito dynamické pole struktur sLoadRect. Struktura sLoadRect obsahuje popis obdélníku nad danou oblastí a číselnou hodnotu tvarového součinitele, z kterého se dopočítává velikost zatížení.

Obdélníky struktury sLoadRect jsou definovány pouze v průmětu střechy do globální roviny XY, teprve při vykreslování grafické entity se přepočítají do roviny střechy a následně jsou z nich vysouvány grafické kvádry reprezentující zatížení. Definice obdélníků pouze v rovině XY koresponduje s rozdělením střechy do oblastí dle normy [2].

Při tvorbě aplikace bylo zapotřebí vyřešit výše zmíněný problém sčítání obdélníků, které se mohou různě překrývat, viz (Obr. 18). Rozdělení celkového objektu na jednotlivé části umožnilo oddělené vykreslování jednotlivých složek zatížení, viz obrázky (Obr. 14 - 16).



Obr. 18 - Schéma sčítání oblastí zatížení na střeše s přesahy, směr větru zleva

Pro metody nalezení průniků a booleanovské operace s obdélníky byla použita grafická knihovna GDI+ společnosti Microsoft. Tato knihovna obsahuje mimo jiné třídu RectF reprezentující obdélník. Operacemi s obdélníky jsou vytvářeny složitější geometrické obrazce, které knihovna GDI+ pokrývá třídou Region. Díky ní lze jednoduše provádět booleanovské operace a čerpat výsledné tvary průniků.

Algoritmus v ukázce pracuje s dvěma hlavními poli, je to pole rgnArr, což je pole obdélníkových regionů představujících zatížení celé střechy, na obrázku (Obr. 18) zobrazeno

modrou barvou, a pole recArr, což jsou obdélníky jen na přesazích střechy, na obrázku (Obr. 18) vykresleny zeleně.

Nosným prvkem algoritmu je dvojice vnořených cyklů. První prochází jednotlivé regiony pole rgnArr – index i. Druhý prochází po jednom obdélníku z pole recArr – index j a hledá průnik mezi j - tým obdélníkem a i - tým regionem. V případě nalezení průniku je tento zaznamenán do výsledného pole oblastí s jednotným zatížením. Zbytek booleanovské operace pak pokračuje dále do hledání průniků se zbývajících obdélníky nad přesahy střechy. Pokračuje se až do ukončení všech cyklů. Výsledkem je pole obdélníků představujících sumaci všech působících složek větru v jednom konkrétním místě střechy.

V ukázce kódu jsou jednotlivé kroky komentovány.

Ukázka části algoritmu řešené aplikace – hledání průniků oblastí na střeše:

```
// proměnné potřebné pro sčítání:
// matice potřebná pro výpočet rectanglu z regionu
Matrix mat;
mat.SetElements(1, 0, 0, 1, 0, 0); // naplnění matice
// pointer na region zbytku
Region *prgnRest;
// pointer na kopii regionu se kterým se aktuálně pracuje
Region *prgnIntersect;
// pointer na pomocné pole rectanglu k přenosu z regionu do finálního pole RoofAll
RectF *ptmpRects;
// pomocná proměnná typu vlastní struktury sLoadRect k přidávání do pole RoofAll
sLoadRect lRect;
// počet rectanglu vytvořených z regionu
int count;
// pro kontrolu návratové hodnoty funkcí při debugování
Status st;
// procházení pole regionu
for (int i = 0; i < rgnArr.length(); i++)
{
    // jako zbytek se nastaví aktuální region
    prgnRest = rgnArr[i].prgn;
    // procházení pole rectanglů - recArr
    for (int j = 0; j < recArr.length(); j++)
    {
        // pokud je průnik aktuálního prgnRest s j-tou položkou pole rect
        if (prgnRest->IsVisible(recArr[j].rect))
        {
            // vytvoření kopie regionu ze které se udělá průnik
            prgnIntersect = prgnRest->Clone();
            // získání regionu průniku s rectanglem
            st = prgnIntersect->Intersect(recArr[j].rect);
            // tento průnik je předělán na rectangely rectF
```

```

// zjištění počtu rectangelů, které se vytvoří z regionu průniku
count = prgnIntersect->GetRegionScansCount(&mat);
// alokace paměti pomocného pole na získanou velikost
ptmpRects = (RectF*)malloc(count * sizeof(RectF));
// vytvoření dočasného pole rectanglu tmpRects
st = prgnIntersect->GetRegionScans(&mat, ptmpRects, &count);
// každý rectangl bude zapsán do pole RoofAll
for (int k = 0; k < count; k++)
{
    // zápis rectanglu
    lRect.rect = ptmpRects[k];
    // sčítání hodnot z regionu a rectanglu
    lRect.val = rgnArr[i].val + recArr[j].val;
    // přidávání lRect do výsledného pole RoofAll
    mWindLoad[ii].waveRoofAll.append(lRect);
}
// nový zbytek je získán jako exclude se stejným rectanglem
// který byl pro intersect => zbytek bool operace po průniku
// tento zbytek je nový prgnRest
st = prgnRest->Exclude(recArr[j].rect);
}
}
// pokud z prgnRest po všech průchodech cyklu j něco zbylo
// ukládám zbytek jako rectF do pole RoofAll
count = prgnRest->GetRegionScansCount(&mat);
if (count > 0)
{
    // alokace paměti pro dočasné pole
    ptmpRects = (RectF*)malloc(count * sizeof(RectF));
    // vytvoření dočasného pole rectanglu
    st = prgnRest->GetRegionScans(&mat, ptmpRects, &count);
    // každý rectangle je zapsán do pole RoofAll
    for (int k = 0; k < count; k++)
    {
        // zápisu RectF
        lRect.rect = ptmpRects[k];
        // jako hodnota je uložena pouze hodnota z regionu
        lRect.val = rgnArr[i].val;
        mWindLoad[ii].waveRoofAll.append(lRect);
    }
}
}
} // end for i - průchod polem rgnArr
// uvolnění paměti dočasného pole
free(ptmpRects);

```

3 Použití aplikace na vzorovém příkladu

3.1 Zadání

Správnost výsledků vygenerovaných vytvořenou aplikací bude ověřena na příkladu budovy se sedlovou střechou. Program SCIA, se kterým jsou porovnávány výsledky generátoru větru, neumožňuje zavádět přesahy střech a atiky na prostorovém modelu, proto byl řešen pouze základní tvar stavebního objektu. Půdorysné rozměry budovy jsou 10 x 5 m, výška hrany okapu je 3 m a sklon sedlové střechy je 22.5° na obou stranách. Budova se nachází ve větrné oblasti II, kategorie terénu je II – oblast s nízkou vegetací, ostatní součinitele budou ponechány na doporučených hodnotách normy [2]. Ověřen bude maximální dynamický tlak a hodnoty tvarových součinitelů vnějšího tlaku pro vítr zleva a z čelní strany.

3.2 Ruční výpočet

Výpočet maximálního dynamického tlaku větru:

Základní výchozí rychlost větru pro II. Větrnou oblast: $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Výška objektu $z = 4.035 \text{ m}$ $z_{min} = 1 \leq z = 4.035 \leq z_{max} = 200 \leftarrow \text{VYHOVUJE}$

Parametr drsnosti pro II. Kategorii terénu: $z_0 = 0.05 \text{ m}$

Základní rychlost větru v_b , vzorec (1.2):

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

Součinitel drsnosti terénu $c_r(z)$, vzorec (1.4) a (1.5):

$$c_r(z) = 0.19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0.19 \left(\frac{0.05}{0.05} \right)^{0.07} \cdot \ln \left(\frac{4.035}{0.05} \right) = 0.834$$

Střední rychlost větru $v_m(z)$, vzorec (1.3):

$$v_m = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0.834 \cdot 1.0 \cdot 25 = 20.85 \text{ m/s}$$

Intenzita turbulence větru $I_v(z)$, vzorec (1.6):

$$I_v(z) = \frac{k_l}{c_o(z) \ln(z/z_0)} = \frac{1.0}{1.0 \ln(4.035/0.05)} = 0.228$$

Maximální dynamický tlak větru $q_p(z)$, vzorec (1.7):

$$q_p(z) = [1 + 7 I_v(z)] \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(z)$$
$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot 0.228) \cdot 0.5 \cdot 0.00125 \cdot 20.85^2 = \mathbf{0.705 \text{ kN/m}^2}$$

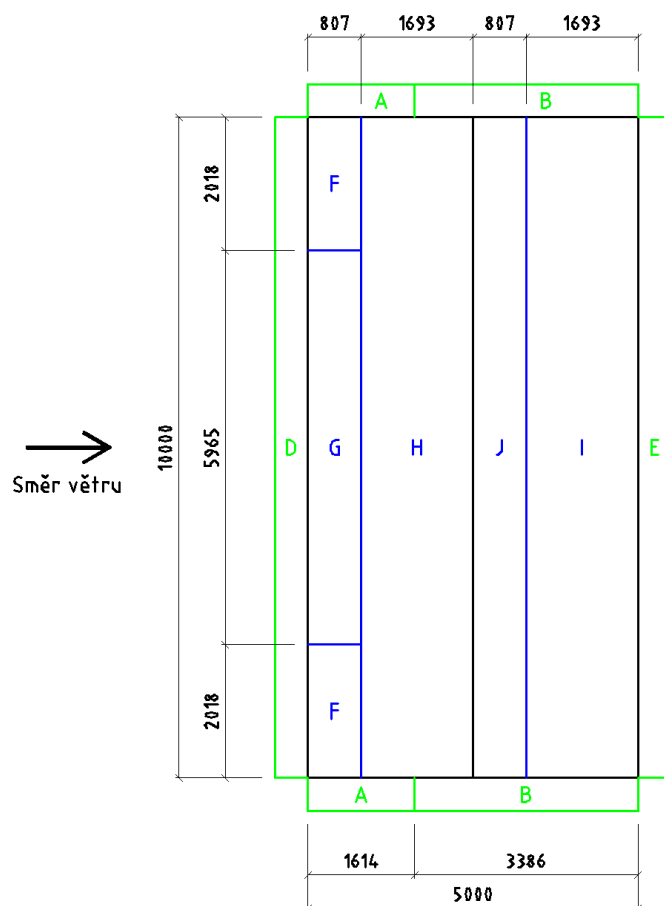
Určení tvarových součinitelů pro zatížení větrem zleva:

$$b = 10 \text{ m}; d = 5 \text{ m}; h = 4.035 \text{ m}$$

$$e = \min(2h; b) = 8.07 \text{ m}$$

$$h/d = 0.807$$

$$\text{Korelace tlaků na návětrné a závětrné: } K = 0.850$$



Obr. 19 - Označení součinitelů pro vítr zleva

$$c_{pe,10}^A = -1.2$$

$$c_{pe,10}^B = -0.8$$

$$c_{pe,10}^D = 0.774 \cdot K = 0.658$$

$$c_{pe,10}^E = -0.449 \cdot K = -0.382$$

$$c_{pe,10}^{F+} = 0.45$$

$$c_{pe,10}^{F-} = -0.7$$

$$c_{pe,10}^{G+} = 0.45$$

$$c_{pe,10}^{G-} = -0.65$$

$$c_{pe,10}^{H+} = 0.3$$

$$c_{pe,10}^{H-} = -0.25$$

$$c_{pe,10}^{I+} = 0.0$$

$$c_{pe,10}^{I-} = -0.4$$

$$c_{pe,10}^{J+} = 0.0$$

$$c_{pe,10}^{J-} = -0.75$$

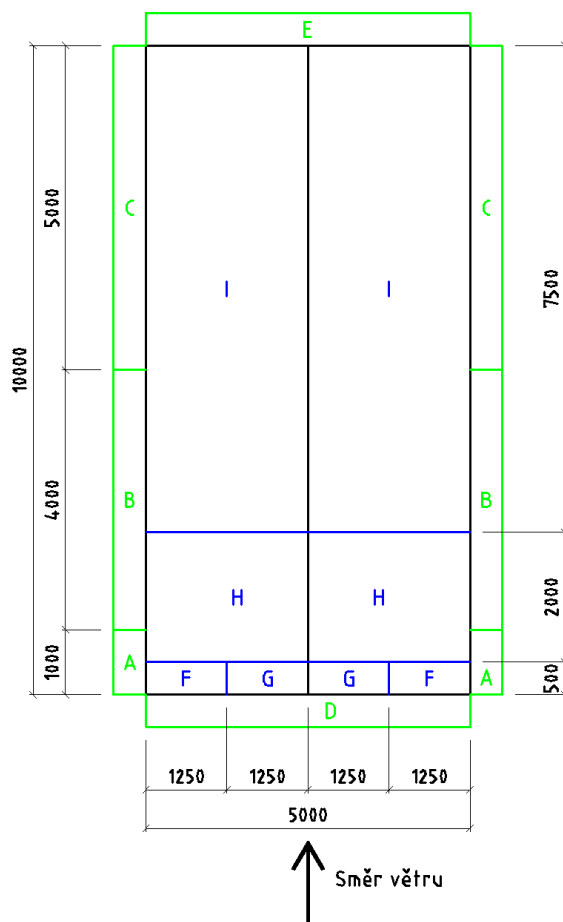
Určení tvarových součinitelů pro zatížení větrem z čelní strany:

$$b = 5 \text{ m}; d = 10 \text{ m}; h = 4.035 \text{ m}$$

$$e = \min(2h; b) = 5 \text{ m}$$

$$h/d = 0.404$$

$$\text{Korelace tlaků na návětrné a závětrné: } K = 0.850$$



Obr. 20 - Označení součinitelů pro vítr z čelní strany

$$c_{pe,10}^A = -1.2$$

$$c_{pe,10}^B = -0.8$$

$$c_{pe,10}^C = -0.5$$

$$c_{pe,10}^D = 0.720 \cdot K = 0.612$$

$$c_{pe,10}^E = -0.341 \cdot K = -0.290$$

$$c_{pe,10}^F = -1.2$$

$$c_{pe,10}^G = -1.35$$

$$c_{pe,10}^H = -0.7$$

$$c_{pe,10}^I = -0.5$$

3.3 Porovnání výsledků

Jako komerční software pro porovnání výsledků byla zvolena aplikace SCIA Engineer 15.2. Ta obsahuje 3D generátor zatížení větrem. Výstupy programu SCIA Engineer a řešené aplikace jsou doloženy v příloze. Níže je uvedena přehledná tabulka s porovnávanými součiniteli.

Tabulka 3 - Porovnání součinitelů vnějšího tlaku - vítr zleva

| Součinitele | Ruční výpočet | Řešená aplikace | SCIA Engineer |
|------------------|---------------|-----------------|---------------|
| $c_{pe,10}^A$ | -1.200 | -1.200 | -1.200 |
| $c_{pe,10}^B$ | -0.800 | -0.800 | -0.800 |
| $c_{pe,10}^D$ | 0.658 | 0.658 | 0.747 |
| $c_{pe,10}^E$ | -0.382 | -0.381 | -0.393 |
| $c_{pe,10}^{F+}$ | 0.450 | 0.450 | 0.450 |
| $c_{pe,10}^{G+}$ | 0.450 | 0.450 | 0.450 |
| $c_{pe,10}^{H+}$ | 0.300 | 0.300 | 0.300 |
| $c_{pe,10}^{I+}$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| $c_{pe,10}^{J+}$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| $c_{pe,10}^{F-}$ | -0.700 | -0.700 | -0.700 |
| $c_{pe,10}^{G-}$ | -0.650 | -0.650 | -0.650 |
| $c_{pe,10}^{H-}$ | -0.250 | -0.250 | -0.250 |
| $c_{pe,10}^{I-}$ | -0.400 | -0.400 | -0.400 |
| $c_{pe,10}^{J-}$ | -0.750 | -0.750 | -0.750 |

Tabulka 4 - Porovnání součinitelů vnějšího tlaku - vítr z čelní strany

| Součinitele | Ruční výpočet | Řešená aplikace | SCIA Engineer |
|---------------|---------------|-----------------|---------------|
| $c_{pe,10}^A$ | -1.200 | -1.200 | -1.200 |
| $c_{pe,10}^B$ | -0.800 | -0.800 | -0.800 |
| $c_{pe,10}^C$ | -0.500 | -0.500 | -0.500 |
| $c_{pe,10}^D$ | 0.612 | 0.612 | 0.721 |
| $c_{pe,10}^E$ | -0.290 | -0.290 | -0.341 |
| $c_{pe,10}^F$ | -1.200 | -1.200 | -1.200 |
| $c_{pe,10}^G$ | -1.350 | -1.350 | -1.350 |
| $c_{pe,10}^H$ | -0.700 | -0.700 | -0.700 |
| $c_{pe,10}^I$ | -0.500 | -0.500 | -0.500 |

Odlišnosti v hodnotách součinitelů oblastí D a E, vypočtených programem SCIA jsou způsobeny dvěma faktory. Zaprvé, program SCIA při výpočtu součinitelů stěn používá výšku zatěžovacího panelu a ne celého objektu. A zadruhé, generátor větru programu SCIA nezahrnuje koeficient nedostatečné korelace oblastí D a E dle článku 7.2.2, odstavec 3.

Hodnota maximálního dynamického tlaku vypočítaného ručně se shoduje s hodnotou vypočítanou řešenou aplikací, viz (Obr. 22) přílohy.

Rozmístění oblastí součinitelů vnějšího tlaku je stejné pro všechny tři porovnávané metody výpočtu.

4 Závěr

Jako uživatelský doplněk prostředí AutoCADu byla vytvořena aplikace, která na stavebním objektu generuje zatížení sněhem a větrem. Uživatel může velice intuitivně měnit geometrii objektu, včetně volby typu střechy a jejího ukončení. Generátor zatížení je obsloužen přehledným dialogovým formulářem s nastavením vstupních veličin. Výsledná zatížení jsou reprezentována barevnými grafickými kvádry a textovými výstupy hodnot zatížení nebo tvarových koeficientů. Přepínání zobrazení mezi jednotlivými zatěžovacími stavy probíhá v malém dialogu, který je viditelný i při práci se stavebním objektem.

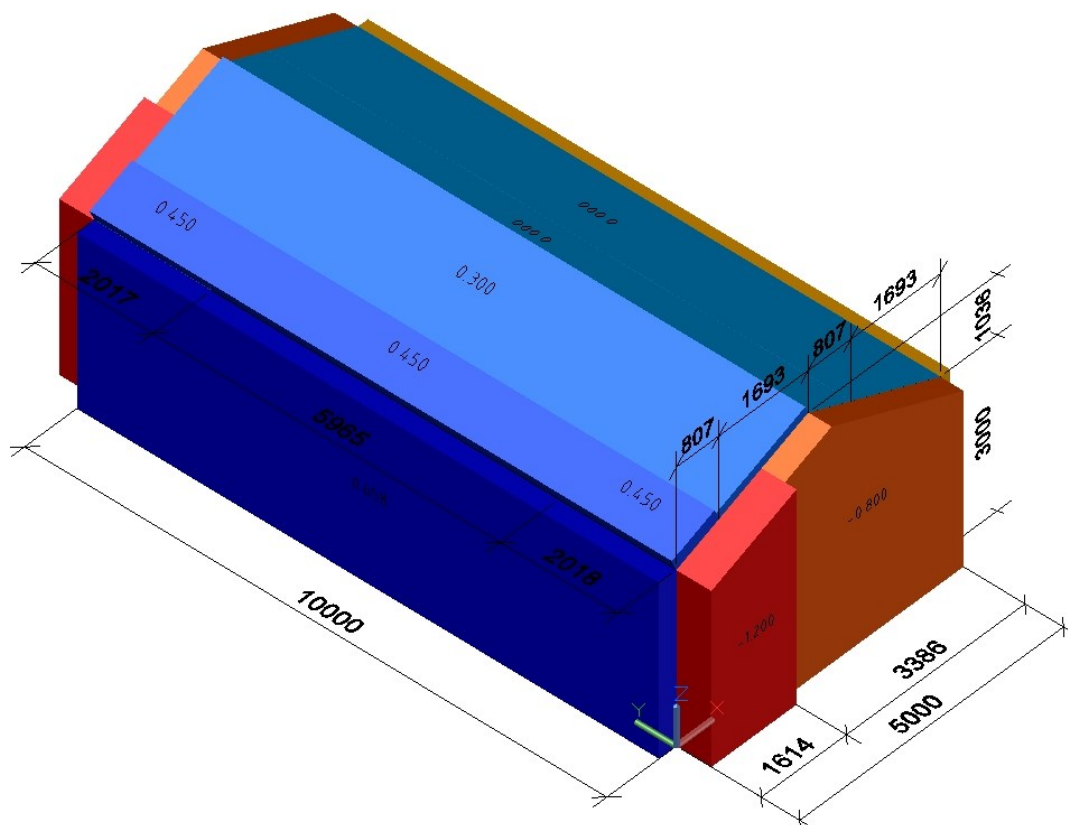
Na vzorovém příkladu byla ověřena správnost výpočtu zatížení větrem. Hodnoty zatížení odpovídají výpočtu zatížení, dle platné normy ČSN EN 1991 – 1 – 4.

Mnoho stavebních inženýrů používá pro výpočty zatížení větrem a sněhem vlastní aplikace napsané v tabulkových procesorech, jako je např. Excel společnosti Microsoft. Tyto aplikace by mohly být nahrazeny popsáním programem, který přináší oproti tabulkovým procesorům především výhodu grafických prezentací a intuitivnost ovládání.

Do budoucnosti je cílem především rozklad účinků plošného zatížení do liniového zatížení rámu a doplnění dalších možností geometrie objektu a výpočtů dle Eurokódů.

5 Příloha

5.1 Výstupy řešení aplikace generátoru

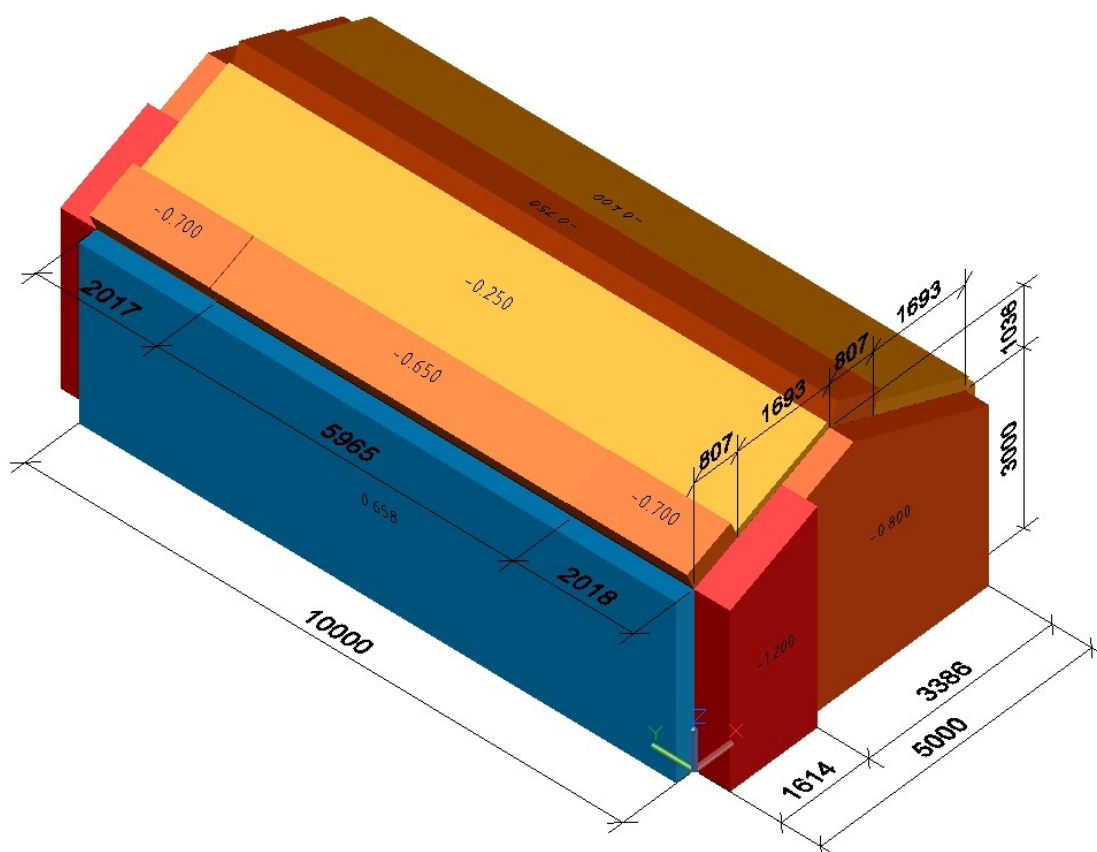


Obr. 21 – Vzorový příklad, součinitele zatížení pro vítr zleva - kladné hodnoty

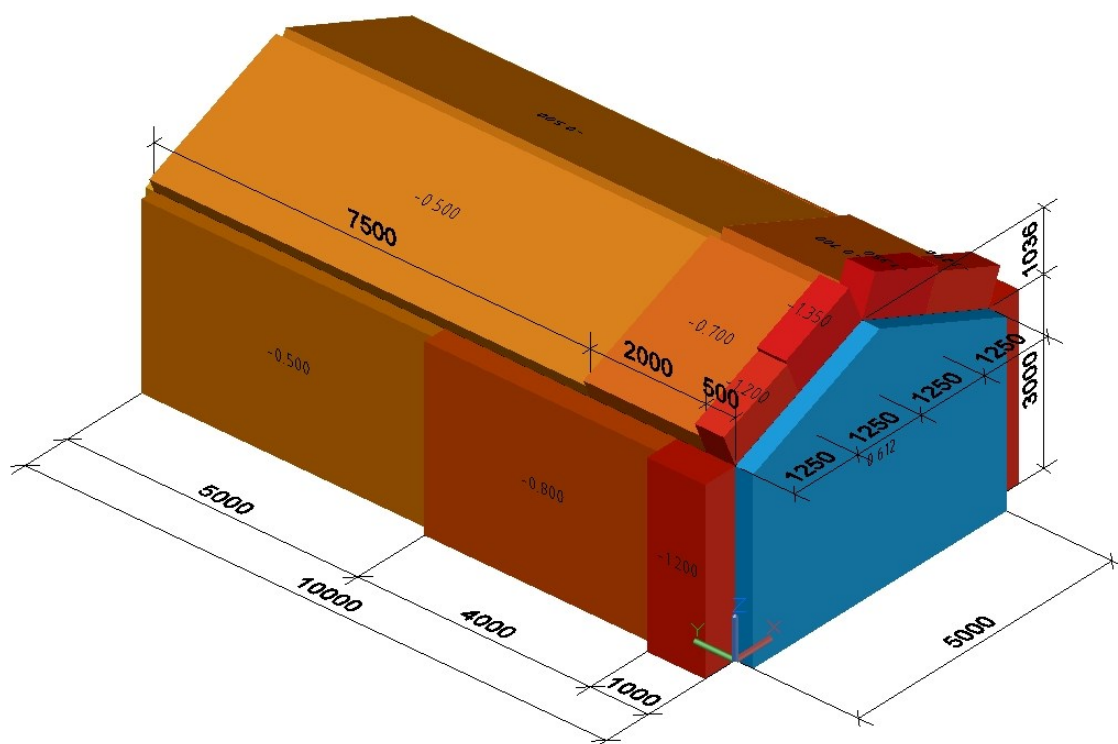
A screenshot of a software dialog box titled "Součinitele zatížení větrem". It contains several input fields for wind load calculations. The "Výškové odsazení objektu nad terénem" (Z_t) is 0.000 m. The "Základní rychlost větru" (V_b) is 25.000 m/s. The "Střední rychlost větru" (V_m(z)) is 20.857 m/s. The "Maximální dynamický tlak" (q_p(z)) is 0.705 kN/m². The dialog box also includes fields for wind direction coefficient (C_{dir}), season coefficient (C_{season}), terrain coefficient (K_r), roughness coefficient (C_r(z)), orography coefficient (C_o(z)), turbulence coefficient (K_t), and turbulence intensity (I_v).

| Parameter | Value |
|--|-------------|
| Výškové odsazení objektu nad terénem (Z _t) | 0.000 m |
| Základní rychlost větru (V _b) | 25.000 m/s |
| Střední rychlost větru (V _m (z)) | 20.857 m/s |
| Maximální dynamický tlak (q _p (z)) | 0.705 kN/m² |

Obr. 22 - Vzorový příklad, výpočet maximálního dynamického tlaku

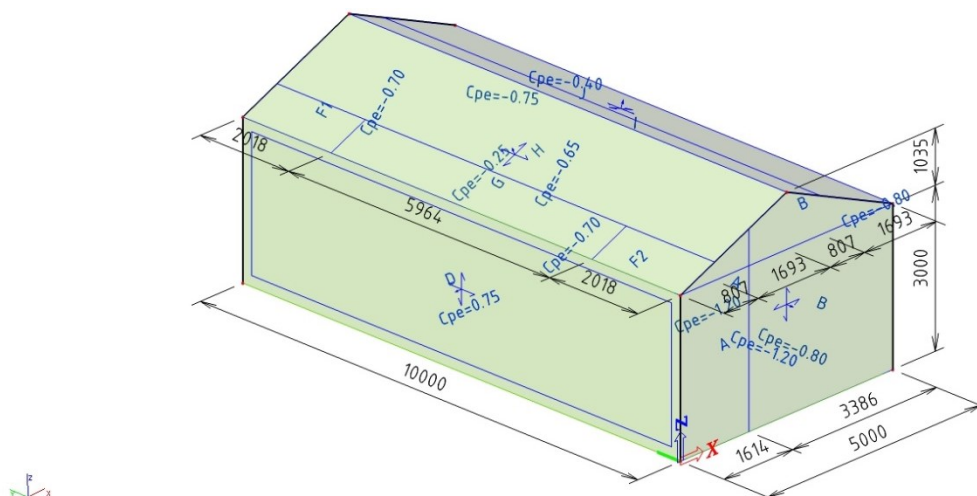


Obr. 23 – Vzorový příklad, součinitele zatížení pro vítr zleva - záporné hodnoty

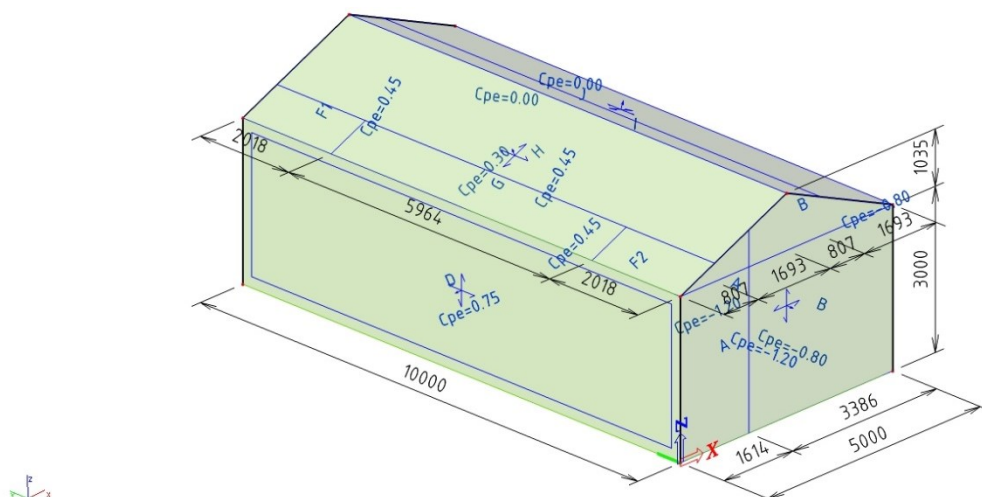


Obr. 24 – Vzorový příklad, součinitele zatížení pro vítr z čelní strany

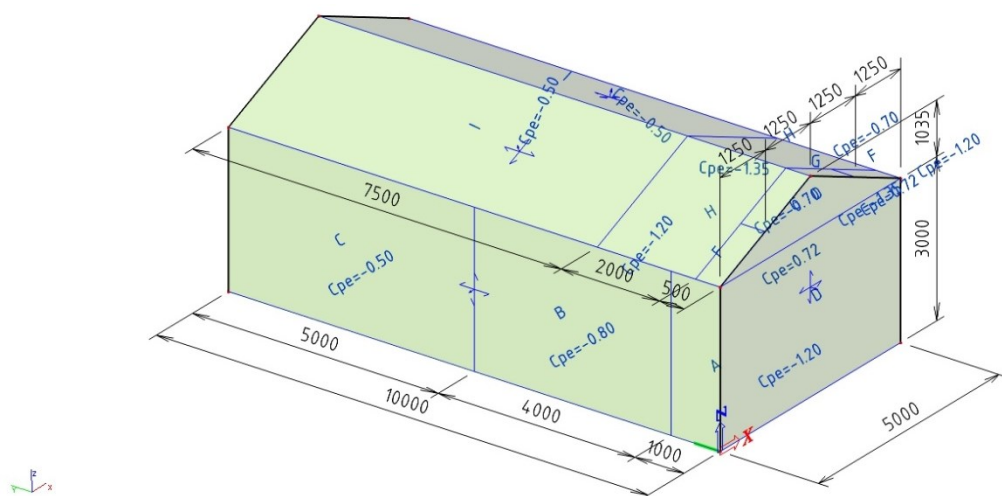
5.2 Výstupy programu SCIA Engineer



Obr. 25 – SCIA, vzorový příklad, součinitele zatížení pro vítr zleva - kladné hodnoty



Obr. 26 – SCIA, vzorový příklad, součinitele zatížení pro vítr zleva - záporné hodnoty



Obr. 27 – SCIA, vzorový příklad, součinitele zatížení pro vítr z čelní strany

6 Seznam použitých podkladů

6.1 Normy

Při výpočtu byly použity tyto normy:

- [1] ČSN EN 1991 – 1 – 3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1 – 3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. ČNI, 2005
- [2] ČSN EN 1991 – 1 – 4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1 – 4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. ČNI, 2007

6.2 Literatura

- [3] Holický, M., Marková J., Sýkora M., *Zatížení stavebních konstrukcí, Příručka k ČSN EN 1991*. Praha: ČKAIT 2010
- [4] Pirner M., Fisher O., *Zatížení staveb větrem*. Praha: ČKAIT 2003
- [5] Svoboda P., *AutoLISP učebnice*. Praha: CA Publishing 1991
- [6] Chalupa R., *1001 tipů a triků pro Visual C++*. Brno: Computer Press, 2003

6.3 Další zdroje

- [7] Dokumentace ObjectARX, součástí ObjectARX SDK volně dostupné na webu společnosti Autodesk (<http://www.autodesk.com>)
- [8] Dokumentace knihoven windows, volně dostupná online: (<https://msdn.microsoft.com/>)

6.4 Použité programové vybavení

- Visual Studio 2013
- ObjectARX SDK
- AutoCAD 2016 x64
- SCIA Engineer 15.2
- Balík aplikací Microsoft Office 2013

7 Seznam tabulek a obrázků

7.1 Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 - Hodnoty tvarového součinitele..... | 10 |
| Tabulka 2- Kategorie terénu a jejich parametry | 13 |
| Tabulka 3 - Porovnání součinitelů vnějšího tlaku - vítr zleva | 38 |
| Tabulka 4 - Porovnání součinitelů vnějšího tlaku - vítr zepředu | 39 |

7.2 Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obr. 1 - Tvarový součinitel pro pultovou střechu | 11 |
| Obr. 2 - Tvarový součinitel pro sedlovou střechu | 11 |
| Obr. 3 - Zatížení přesahů střech..... | 14 |
| Obr. 4 - Součinitel vnitřního tlaku..... | 16 |
| Obr. 5 - Grafická entita stavebního objektu se zobrazenými gripy | 21 |
| Obr. 6 - Grip bod se zobrazeným menu možností úprav..... | 22 |
| Obr. 7 - Dynamické kóty při tahání grip bodu s pevným nastavením šířky objektu | 23 |
| Obr. 8 - Příklad pultové střechy s přesahy a atikami na bocích střechy..... | 24 |
| Obr. 9 – Příklad nesymetrické sedlové střechy s přesahy po celém obvodu střechy | 24 |
| Obr. 10 - Dialogové okno s nastavením parametrů generátorů | 25 |
| Obr. 11 - Dialogové okno nastavení součinitelů zatížení větrem | 26 |
| Obr. 12 - Dialog s nastavením vykreslování..... | 27 |
| Obr. 13 - Příklad vykreslení zatížení na objektu se sedlovou střechou s přesahy, při působení větru z levé strany a se započítaným vnitřním tlakem..... | 28 |
| Obr. 14 - Vykreslení jen zatížení stěn a korespondujícího zatížení na přesazích střechy | 29 |
| Obr. 15 - Vykreslení jen zatížení působící na střechu objektu | 29 |
| Obr. 16 - Vykreslení jen zatížení vnitřním tlakem | 29 |
| Obr. 17 - Vykreslení zatížení sněhem navátým vlevo na objektu s atikou | 30 |
| Obr. 18 - Schéma sčítání oblastí zatížení na střeše s přesahy, směr větru zleva..... | 32 |
| Obr. 19 - Označení součinitelů pro vítr zleva..... | 36 |
| Obr. 20 - Označení součinitelů pro vítr z čelní strany..... | 37 |
| Obr. 21 – Vzorový příklad, součinitele zatížení pro vítr zleva - kladné hodnoty | 41 |

| | |
|---|----|
| Obr. 22 - Vzorový příklad, výpočet maximálního dynamického tlaku..... | 41 |
| Obr. 23 – Vzorový příklad, součinitele zatížení pro vítr zleva - záporné hodnoty..... | 42 |
| Obr. 24 – Vzorový příklad, součinitele zatížení pro vítr z čelní strany..... | 42 |
| Obr. 25 – SCIA, vzorový příklad, součinitele zatížení pro vítr zleva - kladné hodnoty | 43 |
| Obr. 26 – SCIA, vzorový příklad, součinitele zatížení pro vítr zleva - záporné hodnoty ... | 43 |
| Obr. 27 – SCIA, vzorový příklad, součinitele zatížení pro vítr z čelní strany..... | 43 |